

PERANAN DAYA REAKTIF PADA SISTEM KELISTRIKAN¹⁾

Letifa Shintawaty²⁾

Abstrak Daya reaktif merupakan masalah yang kompleks dan penting pada sistem kelistrikan, terutama pada sistem kelistrikan di Industri dimana sebagian besar bebannya merupakan motor induksi, sehingga menimbulkan masalah pada daya reaktif.

Daya reaktif berperan aktif pada sistem kelistrikan, yaitu peran positif dan peran negatif. Peran positif daya reaktif adalah pada pembangkitan fluksi magnet pada rangkaian gandeng elektromagnet, seperti transformator, motor induksi, dan peralatan induksi lainnya, agar daya dari sumber dapat ditransferkan kesisi sekunder dari transformator, atau melalui celah udara pada motor induksi. Peranan negatif daya reaktif adalah terhadap jatuh tegangan, rugi-rugi daya, dan kapasitas kebutuhan daya. Semakin besar daya reaktif yang diserap oleh beban dari sumber, maka peran negatifnya akan semakin besar yang dapat dibuktikan dari hasil perhitungan.

Pada penelitian ini dibahas sedikit mengenai peranan positif daya reaktif, tetapi pembahasan dititik beratkan pada peranan negatifnya terhadap sistem, yang ditunjang dengan perhitungan-perhitungan dalam kondisi berbeban. Tujuan dari pembahasan ini adalah dimaksudkan untuk mengetahui seberapa jauh peranan daya reaktif tersebut terhadap sistem kelistrikan sehingga dapat mengambil langkah-langkah dalam mengatasi bila beban terlalu banyak menyerap daya reaktif dari sumber.

1. PENDAHULUAN

Pada sistem kelistrikan industri, keadaan beban akan berpengaruh besar terhadap operasi ekonomis sistem. Karena bebannya banyak menggunakan motor induksi, sehingga akan menyebabkan kelebihan daya reaktif pada jaringan.

Daya reaktif merupakan masalah yang kompleks dan penting pada sistem kelistrikan, terutama pada sistem kelistrikan di Industri dimana sebagian besar bebannya merupakan motor induksi, sehingga menimbulkan masalah pada daya reaktif.

Pada penelitian ini penulis ingin mengetahui sampai dimana peranan daya reaktif terhadap sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU III SS#29 MCC-29-D-1 kilang Plaju, terutama peran terhadap jatuh tegangan, rugi-rugi daya, dan kapasitas kebutuhan daya.

Sehingga kita dapat mengambil langkah-langkah untuk mengatasinya bila daya reaktif tersebut berperan memperburuk sistem kelistrikan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Daya yang diserap oleh beban terdiri dari dua bagian yaitu daya aktif dan daya reaktif, tergantung dari pada sifat bebannya. Bila beban bersifat resistif akan menyerap daya aktif, bila beban bersifat induktif atau kapasitif akan menyerap daya reaktif. Dan bila bebannya merupakan beban campuran yang terdiri dari komponen-komponen resistansi, induktansi dan kapasitansi maka akan menyerap kedua daya tersebut yang disebut sebagai daya kompleks atau daya semu.

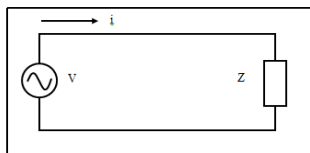
¹⁾ Peranan Daya Reaktif Pada Sistem Kelistrikan

²⁾ Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang

Daya reaktif bersumber dari peralatan-peralatan listrik berupa generator sinkron, saluran transmisi, motor sinkron dan kapasitor shunt yang mana akan berpengaruh pada sistem kelistrikan, yaitu pengaruh terhadap jatuh tegangan, faktor kerja, kapasitas kebutuhan daya dan rugi-rugi daya.

2.2 Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai kecepatan berubahnya energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus. Jika tegangan diukur dalam volt, dan arus dalam amper maka daya dinyatakan dalam volt ampere. Dalam sistem tenaga listrik daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau Horsepower (HP), Horse power merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara dengan 746 Watt. Secara sistematis daya dapat diuraikan dengan bantuan gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 : Rangkaian Listrik Berbeban

Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$P = V \times I \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

P = Daya Listrik (Watt)

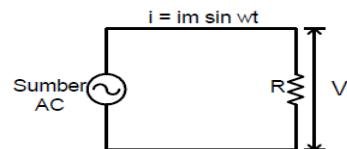
V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Dalam rangkaian listrik terdapat 3 (tiga) macam karakteristik beban listrik. yaitu beban resistif, beban induktif dan beban kapasitif. Ketiga sifat beban tersebut akan dijelaskan berikut ini :

1. Beban Resistif

Beban resistif (R) yaitu beban yang hanya terdiri dari komponen tahanan (*resistance*), seperti elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar.

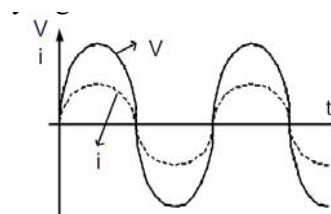


Gambar 2.2 : Rangkaian Resistor

Daya yang diserap adalah :

$$\begin{aligned} p &= v \cdot i \\ p &= V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t \\ p &= V_m \cdot I_m \sin^2 \omega t \quad \text{atau :} \\ p &= \frac{V_m \cdot I_m}{2} (1 - \cos 2 \omega t) \end{aligned}$$

Gambar dibawah ini diperlihatkan grafik yang melukiskan tegangan bolak-balik dan kuat arus listrik bolak-balik dalam suatu sistem koordinat yang sama.



Gambar 2.3 : Grafik Gel. Sinus Beban Resistif

2. Beban Induktif

Beban induktif yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti yang mempunyai induksi (L), sehingga menimbulkan tahanan (X_L).



Gambar 2.4 : Rangkaian Induktor

Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa pada arus sehingga bersifat *lagging*, yang disebabkan karena adanya energi yang tersimpan berupa magnetis maka fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan.

Untuk beban induktif murni, $Z = X_L$, arus akan tertinggal sejauh sudut 90° terhadap tegangan, maka :

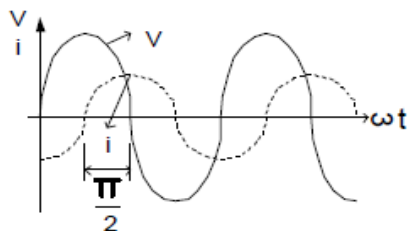
$$v = V_m \cdot \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

$$i = I_m \cdot \sin (\omega t - 90^\circ) \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

Daya yang diserap adalah :

$$\begin{aligned} p &= V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin (\omega t - 90^\circ) \\ p &= \frac{V_m I_m}{2} \cos 90 - \frac{V_m I_m}{2} \cos (2\omega t - 90) \\ p &= 0 - \frac{V_m I_m}{2} \cos (2\omega t - 90) \\ p &= - \frac{V_m I_m}{2} \cos (2\omega t - 90) \\ p &= - \frac{V_m I_m}{2} \sin 2\omega t \quad \dots\dots\dots (2-4) \end{aligned}$$

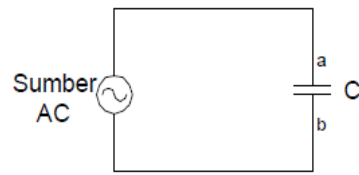
Pada gambar dibawah ini, melukiskan diagram hubungan antara v dan i untuk rangkaian induktor L dalam sebuah sistem koordinat yang sama.



Gambar 2.5 : Grafik Gelombang Sinus Beban Induktif

3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif (C) yaitu komponen yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) dalam suatu sirkuit.



Gambar 2.6 : Rangkaian Kapasitor

Seperti yang terlihat pada gambar diatas sebuah kapasitor dengan kapasitansi C dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik $v = V_m \cdot \sin \omega t$. Untuk kondisi beban kapasitif murni, $Z = X_C$, arus akan mendahului tegangan sebesar sudut 90° , maka :

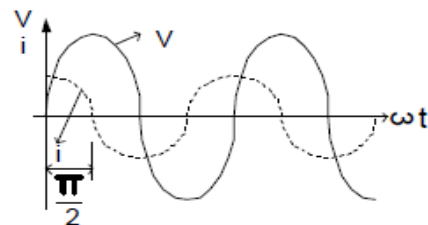
$$v = V_m \cdot \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

$$i = I_m \cdot \sin (\omega t + 90^\circ) \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

Daya yang diserap adalah :

$$p = \frac{V_m \cdot I_m}{2} \sin 2\omega t \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

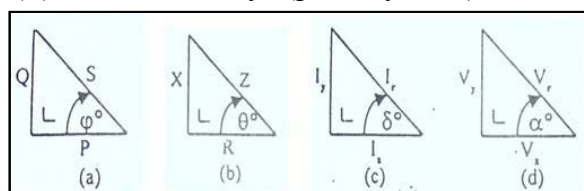
Kurva tegangan dan arus seperti tampak pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.7 : Grafik Gelombang Sinus Beban Kapasitor

2.3. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan diagram vektor yang menunjukkan hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q), daya semu (S), dan faktor daya (*power factor*).



Gambar 2.8 : Segitiga Daya dan Segitiga Ekuivalen

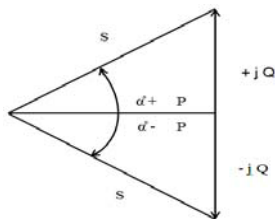
Dari gambar diatas didapatkan persamaan :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$P = S \cos \phi \dots\dots\dots (2-9)$$

$$Q = S \sin \phi \dots\dots\dots (2-10)$$

Dari ketiga persamaan diatas merupakan ekuivalen dengan persamaan segitiga daya pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 : Segitiga Daya Reaktif kapasitif dan Reaktif Induktif

Pada gambar 2.12 diatas dipresentasikan persamaan :

$$S = P + jQ \text{ (induktif)} \dots\dots\dots (2-11)$$

$$S = P - jQ \text{ (kapasitif)} \dots\dots\dots (2-12)$$

$$S = P \text{ (resistif)} \dots\dots\dots (2-13)$$

Pada persamaan (2-27) hanya berlaku, jika induktansi dan kapasitansi dari beban sistem tenaga listrik tersebut besarnya sama.

Tanda plus dan minus pada gambar diatas hanya merupakan simbol sifat beban listriknya. Dengan cara yang sama, persamaan pada gambar 2.11 (b), (c) dan (d) ekuivalen dengan persamaan segitiga daya (2-22), (2-23) dan (2-24) yang diperoleh dari gambar 2.11 (a). Dimana :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots (2-14)$$

$$Z = R \pm jX \dots\dots\dots (2-15)$$

$$S = I^2 \cdot Z \dots\dots\dots (2-16)$$

$$P = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2-17)$$

$$Q = I^2 \cdot X \dots\dots\dots (2-18)$$

2.3.1 Daya Aktif (Active Power)

Daya aktif biasanya disebut juga dengan daya nyata. Daya ini dapat secara langsung digunakan oleh beban untuk diubah ke energi lain seperti energi panas, energi cahaya dan sebagainya.

Daya ini dapat diserap oleh beban yang berupa tahanan murni atau beban yang mengandung komponen tahanan seperti lampu pijar, elemen pemanas, motor-motor listrik, kipas angin dan lain-lain sebagainya.

Daya aktif (*active power*) diukur dalam satuan Watt (W), Kilowatt (KW), Megawatt (MW) dan seterusnya. Dibawah ini adalah persamaan untuk daya Aktif (*active power*):

$$P1\phi = V_{pn} \times I_{pn} \times \cos \phi \dots\dots\dots (2-19)$$

$$P3\phi = \sqrt{3} \times V_{pp} \times I_{pp} \times \cos \phi \dots\dots\dots (2-20)$$

2.3.2 Daya Reaktif (Reactive Power)

Daya reaktif disebut juga sebagai daya buta. Daya ini tidak dapat dipakai secara langsung oleh beban untuk diubah menjadi energi lain, tetapi berupa daya magnetisasi yang dapat membangkitkan fluksi magnet pada peralatan listrik induksi. Daya reaktif biasanya terdapat pada transformator, motor-motor listrik dan peralatan induksi lainnya.

Daya ini menurunkan sifatnya terdiri dari dua bagian yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif induktif berbentuk energi magnetis sebagai pembangkit fluksi. Tanpa adanya daya reaktif induktif daya tidak dapat ditransferkan ke sisi sekunder transformator atau melalui celah udara pada motor induksi. Daya reaktif kapasitif adalah daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor. Dibawah ini adalah persamaan untuk nilai daya reaktif (*reactive power*) :

$$Q1\phi = V_{pn} \times I_{pn} \times \sin \phi \dots\dots\dots (2-21)$$

$$Q3\phi = \sqrt{3} \times V_{pp} \times I_{pp} \times \sin \phi \dots\dots\dots (2-22)$$

2.3.3 Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya Semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya semu adalah VA (*Volt Ampere*),

$$S1\phi = V_{pn} \times I_{pn} \dots\dots\dots(2-23)$$

$$S3\phi = \sqrt{3} \times V_{pp} \times I_{pp} \dots\dots\dots(2-24)$$

2.3.4 Faktor Daya (*Power Factor*)

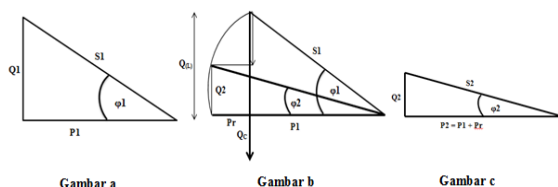
Faktor daya ($\cos \phi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \phi$.

$$\cos \phi = P / S \dots\dots\dots (2-25)$$

Faktor daya menentukan nilai guna dari daya yang dapat digunakan, Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen, faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu. Faktor daya yang lagging maupun leading bersifat memperkecil nilai guna tersebut. Hanya saja umumnya untuk pemakaian tenaga diindustri sebagian besar bebannya bersifat induktif sehingga faktor daya nya lagging.

Untuk mengantisipasi agar nilai gunanya tidak terlalu merosot jauh, maka sistem tenaga listrik yang ada tersebut dihubungkan dengan kapasitor (diparalel) atau dengan kata lain memasok daya reaktif (yang dihasilkan kapasitor) ke beban induktif yang membutuhkan daya reaktif.

Berikut contoh ilustrasi perbaikan faktor daya:



Gambar 2.10 : Perbaikan Faktor Daya

2.4 Fungsi Daya Reaktif

Kita mengenal dua macam daya reaktif yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif induktif sangat diperlukan untuk membangkitkan fluksi magnet pada peralatan-peralatan induksi seperti transformator, motor induksi dan peralatan induksi lainnya yang membutuhkan fluksi magnet. Sedangkan fungsi daya reaktif kapasitif adalah untuk mengkompensasi pengurangan daya reaktif secara vektoris, dengan demikian akan memberikan nilai yang lebih besar bagi pemakaian daya (daya aktif) sehingga besarnya investasi bagi daya terpasang akan dapat dibuat seefesien mungkin.

Disamping itu dengan faktor daya yang lebih tinggi (sudut cosinus nya lebih kecil) maka akan menyebabkan berkurangnya rugi-rugi daya yang hilang.

2.5 Sumber-sumber Daya Reaktif

Peralatan dalam sumber tenaga listrik yang dapat membangkitkan daya reaktif disebut sebagai sumber daya reaktif. Peralatan-peralatan tersebut diantaranya adalah :

- Generator Sinkron
- Saluran transmisi
- Motor Sinkron
- Kapasitor Shunt

Sumber-sumber daya reaktif tersebut memiliki ciri dan cara pembangkitan tersendiri, yang berbeda antara yang satu dengan yang lainnya. Berikut ini kita bahas satu persatu secara ringkas sumber-sumber daya reaktif.

2.5.1 Generator Sinkron

Generator pembangkit daya listrik yang banyak digunakan, daya yang dibangkitkan terdiri dari daya aktif dan daya reaktif. Generator memiliki dua macam arus yaitu arus searah dan arus bolak-balik. Arus searah terdapat pada kumparan penguat sedangkan

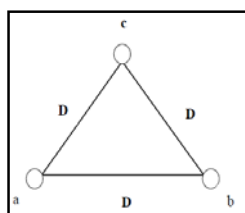
arus bolak-balik terdapat pada kumparan jangkarnya.

Kumparan jangkar ataupun kumparan penguat generator ini dapat diletakkan pada stator atau pada rotor, tergantung pada keperluan. Untuk generator daya besar jangkarnya selalu diletakkan pada stator untuk menghindari masalah arus pada slip ringnya.

Daya aktif generator ini dihasilkan dari penggerak mula, sedangkan daya reaktif nya dihasilkan dari kumparan penguat. Daya reaktif yang dihasilkan ini dapat diubah sesuai dengan kebutuhan kita, yaitu dengan mengubah besarnya arus pada kumparan pada kumparan penguat. Tetapi daya reaktif ini tidak boleh terlalu besar karena akan memperbesar rugi-rugi, menurunkan faktor kerja, dan akan mempengaruhi kapasitas daya.

2.5.2 Saluran Transmisi

Kawat transmisi bukanlah merupakan daya reaktif yang utama, tetapi hanya merupakan pembentukan daya reaktif akibat adanya efek sampingan dari system. Efek sampingan ini berupa kapasitansi diantara kawat saluran transmisi. Dengan demikian akan menyerap daya reaktif yang bersifat kapasitif disepanjang saluran kawat transmisi.



Gambar 2.11 : Saluran kawat tiga fasa yang berpenampang sama dengan jari-jari r dan berjarak D .

Besarnya daya reaktif kapasitif yang dibangkitkan dapat ditentukan secara matematis dengan berpedoman pada hubungan gambar 2.6

$$C_n = \frac{q \alpha}{V_{\text{rms}}} \text{ atau :}$$

$$C_n = \frac{2\pi \cdot \mu_r \cdot \mu_0}{\ln D/r} \text{ Farad persatuan panjang ... (2-26)}$$

Dalam orde microfarad ditulis sebagai :

$$C_n = \frac{5,56 \cdot 10^{-2}}{\ln D/r} \mu\text{F.Km} \dots\dots\dots (2-27)$$

Besar arus pengisian fasa ke netral, untuk fasa a adalah sebesar :

$$I_p = I \omega C_n V_{an} \dots\dots\dots (2-28)$$

Daya pengisian kapasitansi adalah sebesar :

$$Q_p = I_p \cdot V_{an} \text{ atau,}$$

$$Q_p = \frac{5,56 \cdot 10^{-2} \cdot \omega \cdot (V_{an})^2}{\ln D/r} \text{ Var/Km} \dots\dots\dots (2-29)$$

atau,

$$Q_p = \frac{5,56 \cdot 10^{-2} \cdot \omega \cdot (V_{an})^2}{\ln D/r} \text{ Var} \dots\dots\dots (2-30)$$

Keterangan :

C_n = Kapasitif kawat fasa ke netral

μ_0 = Permittivitas udara = $8,85 \cdot 10^{-2}$ farad/meter

μ_r = Permittivitas realtif media

Q_p = Daya pengisian kapasitif

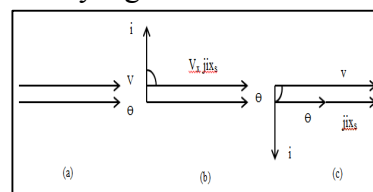
ω = Omega = $2\pi f$

f = Frekwensi listrik

l = Panjang kawat saluran, kilo meter

2.5.3 Motor Sinkron

Bila motor tanpa beban diberi penguat lebih (*over exiter*), akan membangkitkan daya reaktif yang bersifat kapasitif dan dikenal sebagai kondensor atau sebagai synchronous condenser. Sebaliknya bila motor tanpa beban diberi penguat kurang, akan membangkitkan daya reaktif yang bersifat induktif.



Gambar 2.12 : Diagram vektor motor tanpa beban

Keterangan :

V = Tegangan Jepit
I = Arus jangkar
E = GGL Induksi
Xs = Reaktansi Motor

Dengan melihat gambar diatas, daya reaktif yang dibangkitkan oleh motor dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Penguat normal, $V = E$

Pada keadaan ini motor tidak menarik atau memberikan reaktif ke jala-jala, sehingga V akan berimpit dengan E.

b. Penguatan berlebihan, $E > V$

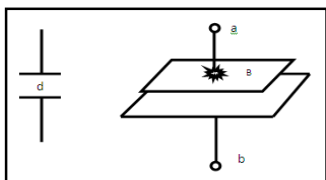
Motor akan menarik arus kapasitif dari jala-jala sehingga motor akan berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif yang bersifat kapasitif dan dapat digunakan sebagai alat untuk membangkitkan faktor kerja sistem.

c. Penguatan kurang, $E < V$

Motor akan menarik arus magnetisasi dari jala-jala sehingga motor akan berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif yang bersifat induktif.

2.5.4 Kapasitor Shunt

Kapasitor merupakan sumber daya reaktif yang statis, yang berprinsip pada dua buah plat sejajar yang diberi tegangan. Energi listrik dapat disimpan diantara kedua plat tersebut.



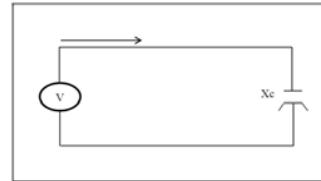
Gambar 2.13 : Kapasitor plat sejajar

Jika pada titik a dan b diberi tegangan sebesar V, dengan banyak nya muatan pada permukaan plat sebesar ϵ , maka :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \dots\dots\dots (2-31)$$

Dimana : C = Kapasitas antara plat sejajar
 ϵ = Permittivitas bahan diantara plat
A = Luas Penampang plat
D = Jarak antara kedua plat

Besar energi yang tersimpan dalam sebuah kapasitor dapat ditentukan sebagai berikut :



Gambar 2.14 : Rangkaian untuk menentukan daya reaktif kapasitif

Dengan menggunakan arus sebagai frekwensi, maka tegangan akan tertinggal sebesar sudut 90° terhadap arus, sehingga arus dan tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V = V_m \sin \omega t$$

$$I = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Daya yang tersimpan adalah :

$$Q_k = I \cdot V$$

$$Q_k = V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$Q_k = \frac{1}{2} (V_m \cdot I_m \sin \omega t) \dots\dots\dots (2-32)$$

Daya maksimum yang tersimpan adalah :

$$Q_{km} = \frac{1}{2} (V_m \cdot I_m) \dots\dots\dots (2-33)$$

Tegangan efektif pada kapasitor :

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_c \text{ atau :}$$

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = V_c \cdot \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-34)$$

Arus efektif yang mengalir adalah :

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = I_c \text{ atau :}$$

$$I_m = I_{rms} \cdot \sqrt{2} = I_c \cdot \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-35)$$

Daya reaktif yang dibangkitkan adalah :

$$Q_{rc} = V_c \cdot I_c \text{ atau :}$$

$$Q_{rc} = (I_c)^2 \cdot X_c \text{ atau :}$$

$$Q_{rc} = (V_c)^2 / X_c \dots\dots\dots(2-36)$$

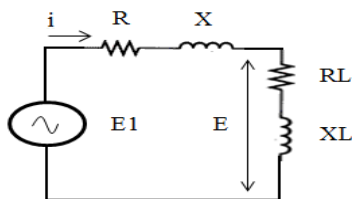
Dimana :

$$X_c = 1/\omega c = 1/2\pi \cdot f \cdot c \dots\dots\dots(2-37)$$

2.7 Pengaruh Daya Reaktif Terhadap Sistem Kelistrikan

2.7.1 Pengaruh Terhadap Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan, jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus, pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admitansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Jatuh tegangan menurut persyaratan yang diizinkan pada system distribusi primer adalah 5 - 10 %. Hubungan antara arus dan tegangan pada suatu sistem kelistrikan ditunjukan pada gambar dibawah ini :

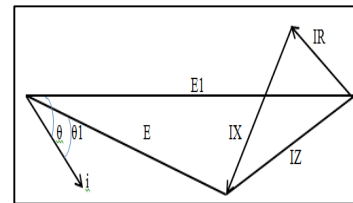


Gambar 2.15 : Rangkaian berbeban, dan hubungan arus terhadap tegangan

Keterangan gambar :

- E1 = Tegangan sumber
- X = reaktansi induktif pengahantar
- R = tahanan pengahantar
- E = tegangan pada titik beban
- RL = tahanan penghantar
- I = arus yang melalui rangkaian

Untuk melihat berapa besarnya jatuh tegangan jika beban berubah, maka diagram fasor dapat dilihat seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.16 : Diagram fasor tegangan & arus

Dari gambar 2.16 diperoleh persamaan pendekatan untuk menentukan jatuh tegangan:

$$\Delta V = E1 - E$$

$$\Delta V = I \cdot R \cos\phi + I \cdot X \sin\phi$$

$$\Delta V = I \cdot (R \cos\phi + X \sin\phi) \dots\dots (2-38)$$

Dari hubungan daya, tegangan dan arus :

$$P = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I \cos\phi \dots\dots\dots (2-39)$$

$$I = P / \sqrt{3} \cdot V_n \cos\phi \dots\dots\dots (2-40)$$

Dimana :

- I = arus perphasa
- P = daya total dalam kW
- Vn = tegangan phasa
- Cosφ = factor kerja sistem

Bila kita anggap $P/\sqrt{3} \cdot V_n$ adalah konstan, dan disimbolkan dengan F, maka :

$$I = F/\cos\phi \dots\dots\dots (2-41)$$

Persamaan (2.64) disubstitrusikan ke persamaan (2.61), maka didapatkan :

$$\Delta V = \frac{F}{\cos\phi} (R \cos\phi + X \sin\phi)$$

$$\Delta V = FR \frac{\cos\phi}{\cos\phi} + FX \sin\phi / \sin\phi$$

$$\Delta V = FR + FX \tan\phi \dots\dots\dots (2-42)$$

Dari segi tiga daya didapat :

$$\tan\phi = Q/P \dots\dots\dots (2-43)$$

Dimana :

- Q = daya reaktif pada beban
- P = daya aktif pada beban

Persamaan (2-43) disibstitusikan kepersamaan (2-42) maka diperoleh :

$$\Delta V = FR + \frac{FXQ}{P} \dots\dots\dots(2-44)$$

Dari persamaan (2-44) terlihat bahwa bila daya reaktif (P) adalah konstanta, tahanan (R), dan reaktansi (X) juga konstan, maka jatuh tegangan akan tergantung pada daya reaktif (Q). Dengan demikian jatuh tegangan dapat dinyatakan sebagai fungsi daya reaktif.

2.7.2 Pengaruh Terhadap Rugi-Rugi Daya

Besar rugi-rugi daya aktif ini ditentukan oleh besarnya arus yang mengalir dan besarnya tahanan penghantar, yang ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \quad \text{..... (2-45)}$$

Dimana :

ΔP = Rugi-rugi daya reaktif (watt)

I = Arus yang mengalir disaluran (Ampere)

R = Tahanan saluran (ohm)

Sedangkan besarnya rugi-rugi daya reaktif ditentukan pada persamaan dibawah ini :

$$\Delta Q = I^2 \cdot X \quad \text{..... (2-46)}$$

Dimana :

ΔQ = Rugi-rugi daya reaktif, dalam VAR

I = Arus yang mengalir disaluran, dalam Ampere

X = Reaktansi induktif saluran, dalam ohm

Dari persamaan (2-46) :

$$I = F / \cos \phi$$

Dimana menurut hubungan segitiga daya pada gambar 2.11 :

$$\cos \phi = P / S$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Bila P konstan maka :

$$\cos \phi = P / \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Disubstitusikan kepersamaan (2-46), didapat :

$$I = E \sqrt{P^2 + Q^2} / P \quad \text{.....(2-47)}$$

$$I^2 = E^2 (P^2 + Q^2) / P^2 \quad \text{.....(2-48)}$$

$$I = E \sqrt{P^2 + Q^2} / P \quad \text{.....(2-47)}$$

$$I^2 = E^2 (P^2 + Q^2) / P^2 \quad \text{.....(2-48)}$$

Persamaan (2-71) disubstitusikan kepersamaan (2-68) :

$$\Delta P = R F^2 (P^2 + Q^2) / P^2 \quad \text{..... (2-49)}$$

Persamaan (2-71) disubstitusikan kepersamaan (2-69) :

$$\Delta Q = X \cdot F^2 (P^2 + Q^2) / P^2 \quad \text{..... (2-50)}$$

Rugi-rugi daya total adalah :

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta P)^2 + (\Delta Q)^2} \quad \text{..... (2-51)}$$

Bila tahanan (R) dan reaktansi induktif (X) saluran adalah konstanta, maka rugi-rugi daya (ΔS) hanya dipengaruhi oleh daya reaktif (Q), sehingga dapat dinyatakan bahwa rugi-rugi merupakan fungsi daya reaktif. Rugi-rugi daya yang umum terjadi pada sistem kelistrikan antara 10% hingga 13%.

2.7.3 Pengaruh Terhadap Kapasitas Kebutuhan Daya

Kebutuhan daya yang harus disupply oleh sumber ke beban tergantung pada penyerapan daya oleh beban dan besar rugi-rugi daya di jaringan. Penyerapan daya oleh beban dapat ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini :

$$S_b = P / \cos \phi$$

Dimana :

S_b = Daya total yang diserap oleh beban

P = Daya aktif yang diserap oleh beban

$\cos \phi$ = Faktor kerja beban

Bila P adalah konstanta, maka didapatkan :

$$S_b = P \sqrt{(P^2 + Q^2)} / P \quad \text{.....(2-52)}$$

Daya yang dibutuhkan sistem adalah :

$$S_t = S_b + \Delta S \quad \text{.....(2-53)}$$

3. METODOLOGI PERHITUNGAN

3.1 Umum

Beban pada Substation SS#29 MCC-29-D1 terdiri dari beberapa motor induksi. Maka dari itu pada perhitungan ini diambil data dalam kondisi beban beroperasi sekarang ini.

Pada kondisi ini akan dihitung berapa besar faktor kerja ($\cos\phi$) nya pada saluran, apabila factor kerja dibawah nilai standar umum yang ditentukan oleh beberapa industri maka perlu dilakukan perbaikan factor kerja ($\cos\phi$) tersebut dengan memasang kapasitor shunt pada saluran. Faktor kerja ini diambil berdasarkan faktor kerja yang umum terjadi pada industri yang berkisar antara 80% hingga 85%.

3.2 Perhitungan Jatuh Tegangan

Bila jatuh tegangan yang terjadi masih berada dalam batas yang diizinkan maka peralatan masih dapat beroperasi secara normal. Sehingga perhitungan dilanjutkan keperhitungan selanjutnya, yaitu perhitungan rugi-rugi daya.

Sedangkan bila jatuh tegangan telah melebihi batas yang diizinkan, maka perlu diadakan perbaikan yaitu dengan mengurangi supply daya reaktif dengan memasang kapasitor yang dipasang secara shunt di terminal beban.

$$e = \sqrt{3 \times \{ (E_m \cos\phi + I_n R \cdot L)^2 + (E_m \sin\phi + I_n X \cdot L)^2 - E_m^2 \}} \quad (3-1)$$

3.3 Perhitungan Arus Maksimum

Untuk mendapatkan besar arus beban, maka dilakukan pendekatan-pendekatan sebagai berikut :

1. Tegangan kualitas minimal ditetapkan :
 - a. Untuk JTM : 10% dibawah tegangan nominal, maka : $V_i = 0.95 V_n$
 - b. Untuk JTR : 5% dibawah tegangan nominal, maka : $V_i = 0.975 V_n$.

2. P_m adalah daya aktif (kW) yang diserap oleh beban motor.

3. Faktor kerja beban dianggap tetap selama pengoperasian beban tersebut.

Berdasarkan ketiga hal tersebut, maka untuk jaringan tegangan menengah pada sistem distribusi primer, besar arus (I_{bm}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_{bm} = \frac{P_m}{\sqrt{3 \times 0.95 \times V_n \times \cos\phi}} \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

Dimana :

P_m = adalah daya aktif (kW) yang diserap oleh beban

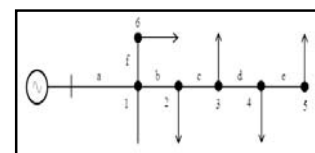
V_n = adalah tegangan nominal sistem

$\cos\phi$ = adalah faktor kerja beban

3.4. Perhitungan Jatuh Tegangan Maksimum

Jatuh tegangan maksimum diperoleh dari adanya arus yang mengalir melalui saluran beban dan segmen. Dengan menggunakan persamaan (3-1), akan didapatkan jatuh tegangan maksimum

Untuk menentukan jatuh tegangan total pada setiap titik pembebanan, node, diberikan contoh sebagai berikut :



Gambar 3.1 : Jaringan distribusi radial untuk menentukan jatuh tegangan dan tegangan akhir disetiap node

Jatuh tegangan dihitung untuk tiap saluran, karena arus yang mengalir disetiap saluran tersebut besarnya tidak sama.

Untuk contoh pada gambar 3.1, jatuh tegangan pada titik pembebanan (node) merupakan penjumlahan dari jatuh tegangan pada node sebelumnya.

Jatuh tegangan pada setiap node adalah :

1. Node 1, $\Delta V_1 = \Delta V_a$
2. Node 2, $\Delta V_2 = \Delta V_a + \Delta V_b$
3. Node 3, $\Delta V_3 = \Delta V_a + \Delta V_b + \Delta V_c$
4. Node 4, $\Delta V_4 = \Delta V_a + \Delta V_b + \Delta V_c + \Delta V_d$
5. Node 5, $\Delta V_5 = \Delta V_a + \Delta V_b + \Delta V_c + \Delta V_d + \Delta V_e$
6. Node 6, $\Delta V_6 = \Delta V_a + \Delta V_f$

Tegangan akhir disetiap node ditentukan dengan mengurangi tegangan sumber dengan jatuh tegangan di node tersebut, yaitu :

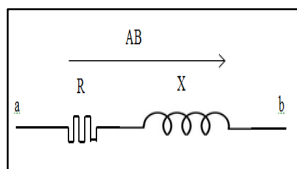
1. Node 1. $V_1 = V_s - \Delta V_1$
2. Node 2. $V_2 = V_s - \Delta V_2$
3. Node 3. $V_3 = V_s - \Delta V_3$
4. Node 4. $V_4 = V_s - \Delta V_4$
5. Node 5. $V_5 = V_s - \Delta V_5$
6. Node 6. $V_6 = V_s - \Delta V_6$

Dimana V_s = Tegangan nominal sumber

3.5. Perhitungan Rugi-Rugi Daya Maksimum

Bila rugi-rugi telah melampaui batas yang diizinkan, maka harus diadakan perbaikan dengan jalan mengurangi supply daya reaktif dari sumber, dengan memasang sumber daya reaktif baru kapasitor yang dipasang secara shunt di terminal beban untuk memenuhi kebutuhan daya areaktif beban tersebut. Rugi-rugi daya pada jaringan tergantung pada besar arus total yang mengalir melalui jaringan tersebut. Rugi-rugi daya akan maksimum bila arus mengalir melalui jaringan dengan arus yang maksimum.

Rugi-rugi daya terdiri dari dua bagian yaitu, rugi-rugi daya aktif (p), dan rugi-rugi daya reaktif (q) yang dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 3.2 : Jaringan distribusi dengan panjang AB dan impedansi $Z = R + jX$

Dari gambar diatas rugi-rugi daya aktif disebabkan oleh arus (I) dan reaktansi (R), sedangkan rugi-rugi daya reaktif disebabkan oleh arus (I) dan reaktansi (X), dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta P_{mak} = [I_{ABmak}]^2 \cdot R \dots\dots\dots (3-3)$$

$$\Delta Q_{mak} = [I_{ABmak}]^2 \cdot X \dots\dots\dots (3-4)$$

Penjumlahan secara vektorial antara kedua daya tersebut merupakan rugi-rugi daya total (HS), yang besarnya adalah sebagai berikut:

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta P)^2 + (\Delta Q)^2} \dots\dots\dots (3-5)$$

$$\Delta S_{mak} = \sqrt{(\Delta P_{mak})^2 + (\Delta Q_{mak})^2} \dots\dots\dots (3-6)$$

Rugi-rugi daya disuatu jaringan distribusi merupakan jumlah seluruh rugi-rugi daya disetiap saluran pada jaringan tersebut.

$$\Delta P_t = \sum \Delta P_i \dots\dots\dots (3-7)$$

$$\Delta Q_t = \sum \Delta Q_i \dots\dots\dots (3-8)$$

$$\Delta S_t = \sum \Delta S_i \dots\dots\dots (3-9)$$

Untuk mengetahui rugi-rugi daya dalam persen (%), maka dipakai persamaan berikut:

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S_t}{S_{tot}} \times 100\% \dots\dots\dots (3-10)$$

Dimana : S_{tot} adalah daya total dari sumber yang diinjeksikan kebeban, yang besarnya adalah :

$$S_{tot} = \sqrt{3} \times V_n \times I_{maks} \dots\dots\dots (3-11)$$

V_n = adalah tegangan nominal sumber

I_{maks} = adalah arus maksimum yang diinjeksikan kebeban melalui segmen atau feeder utama.

3.6. Perhitungan Kapasitas Kebutuhan Daya

Kapasitas kebutuhan daya yang harus disupply oleh sumber merupakan penjumlahan antara penyerapan daya total oleh beban dan rugi-rugi daya total di jaringan.

Untuk menghitung besar daya yang diserap oleh beban digunakan persamaan berikut :

$$P = S \cos\phi \dots\dots\dots (3-12)$$

$$Q = S \sin\phi \dots\dots\dots (3-13)$$

$$S = P / \cos\phi \dots\dots\dots (3-14)$$

Dimana :

S = adalah daya semu yang diserap oleh beban

Q = adalah daya aktif yang diserap oleh beban

P = adalah daya reaktif yang diserap oleh beban

Ö = adalah sudut factor kerja beban.

Persamaan (3-17) ini dipakai untuk menghitung besarnya daya semu yang diserap oleh beban, secara umum persamaan (3-17) dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_i = P_i / \cos\phi_i \dots\dots\dots (3-15)$$

Dimana :

i = adalah indeks beban,

i = 1, 2, 3, ,n.

Daya semu total yang diserap oleh beban adalah:

$$S_{it} = \sum S_i \dots\dots\dots (3-16)$$

$$S_{it} = \sum \frac{P_i}{\cos\phi_i} \dots\dots\dots (3-17)$$

Daya semu total yang harus disupply oleh sumber untuk memenuhi kebutuhan system adalah:

$$S_t = S_{it} + \sum \Delta S_i \dots\dots\dots (3-18)$$

Atau :

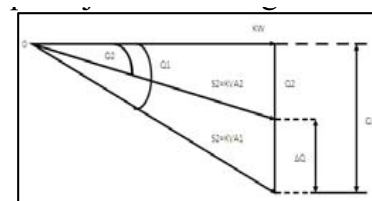
$$S_t = \sum \frac{P_i}{\cos\phi_i} + \sum \Delta S_i \dots\dots\dots (3-19)$$

Dimana :

ΔSi= adalah rugi-rugi daya semu untuk beban ke-1, yang besarnya dapat diperoleh dari persamaan (3-8).

Besarnya daya reaktif yang disupply oleh sumber ke beban dapat berubah-ubah sehingga besar daya semu yang disupply oleh sumber ke beban juga akan berubah - ubah tergantung pada perubahan daya reaktif yang disupply.

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 3.3 : Perubahan daya semu (S) dan daya reaktif (Q)

Pada gambar 3.8 dilihat bahwa pada keadaan semula daya reaktif yang disupply ke beban sebesar Q1 dan daya semunya sebesar S1.

Apabila pada terminal beban dipasang sumber daya reaktif tambahan sebesar Q, maka daya reaktif yang harus disupply oleh sumber akan menjadi Q2, dan daya semunya akan menjadi S2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

4.1.1 Sistem Pembangkit

PT. Pertamina RU III Plaju menggunakan Pusat Pembangkit Tenaga Listrik (PPTL) di Utilities Power Substation II yang terdiri dari :

- a. 3 unit Gas Turbin Generator (2015-UA/UB/UC) berkapasitas 31 MW, frequency 50 Hz, tegangan 12 Kilo Volt.
- b. 1 unit Steam Turbine Generator (2017-U) sebagai secure system berkapasitas 3.2 MW, frequency 50 Hz, tegangan 6.9 Kilo Volt.
- c. 1 Unit Emergency Diesel Generator (2016-U) berkapasitas 0.75 MW, frequency 50 Hz, tegangan 400 volt.

Peralatan kontrol :

- a. Generator kontrol panel, synchronizing panel dan excitation cubical panel untuk masing-masing generator dipasang didalam Central Control Room.
- b. Turbine Auxiliary panel dipasang diruang MCC 2001-K Utilities.

Untuk melayani beban setiap hari nya di SS#29 MCC-29-D1 kilang Plaju di supply daya sebesar 1600 KVA.

4.1.2 Data Jaringan

Struktur jaringan distribusi di SS#29 MCC-29-D1 kilang Plaju dapat dilihat pada gambar single line diagram lampiran nomor 1. Penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit melalui bawah tanah melewati saluran kabel, disalurkan ke masing-masing beban. Data motor dan data saluran untuk setiap beban dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data Beban Motor Pada SS#29 MCC-29-D1 Kilang Plaju PT. PERTAMINA RU III

NO.	SPEKIFIKASI MOTOR	VOLTAGE (V)	ARUS (A)	Coef (pf)	Daya Aktif (Kw)
1	DAM-2101	380 Volt	22.1	0.544	11
2	DA-2101-PM1	380 Volt	0.36	0.75	0.1
3	DA-2101-PM2	380 Volt	1.2	0.71	0.4
4	DAM-2102	380 Volt	29.2	0.541	15
5	DAM-2105	380 Volt	2	0.747	0.75
6	DAM-2201	380 Volt	258	0.555	150
7	DA-2201-PM1	380 Volt	1.95	0.742	0.75
8	DAM-2205	380 Volt	64.9	0.766	30
9	DA-2205-PM1	380 Volt	1.17	0.664	0.4
10	KM-2001A	380 Volt	31.5	0.798	15
11	KM-2201A	380 Volt	55.2	0.862	30
12	KM-2201A-PM1	380 Volt	1.95	0.742	0.75
13	K-2205-PM1	380 Volt	7.25	0.896	3.7
14	KM-2206	380 Volt	271	0.817	135
15	KM-2206	380 Volt	64.9	0.766	30
16	KM-2210A	380 Volt	140.5	0.86	75
17	MAM-2211	380 Volt	7.66	0.856	3.7
18	PM-2002A	380 Volt	5.6	0.87	2.2
19	PM-2105A	380 Volt	5.56	0.819	1.5
20	PM-2104A	380 Volt	1.17	0.664	0.4
21	PM-2105A	380 Volt	0.725	0.806	0.2
22	PM-2107	380 Volt	16.1	0.94	7.7
23	PM-2109	380 Volt	7.25	0.896	3.7
24	PM-2110	380 Volt	26	0.891	15
25	PM-2111	380 Volt	4.5	0.905	2.2
26	PM-2205A	380 Volt	129.7	0.932	75
27	PM-2205A-PM1	380 Volt	1.17	0.664	0.4
28	PM-2206A	380 Volt	55.2	0.862	30
29	PM-2209A	380 Volt	66.7	0.87	37
30	PM-2211A	380 Volt	20	0.906	11
31	PM-2922A	380 Volt	12.6	0.94	5.1
32	PM-2925A	380 Volt	12.6	0.94	5.5
33	ZVM-2207A	380 Volt	4.86	0.832	2.2
34	ZVM-2227	380 Volt	11.9	0.815	5.5
35	ZSM-2507	380 Volt	7.65	0.847	3.7
36	ZSM-2506-1	380 Volt	7.65	0.847	3.7
37	ZSM-2506-2	380 Volt	7.65	0.847	3.7
38	ZAM-2509	380 Volt	42.4	0.855	22
39	ZVM-2511	380 Volt	4.86	0.832	2.2
40	ZVM-2512	380 Volt	2	0.747	0.75
41	ZVM-2513	380 Volt	5.45	0.855	1.5
42	ZDM-2591	380 Volt	4.5	0.87	2.2

Tabel 4.2 Cable Size dan Panjang Saluran Pada Beban Motor SS#29 MCC-29-D1 Kilang Plaju PT. PERTAMINA RU III

NO.	SPEKIFIKASI MOTOR	Cable Size	Cable Length (m)	R (Ω/km) f=50Hz	X (Ω/km) f=50Hz
1	DAM-2101	LV SC-16	190	1.47	0.0761
2	DA-2101-PM1	LV SC-4	190	3.55	0.0675
3	DA-2101-PM2	LV SC-4	195	3.55	0.0675
4	DAM-2102	LV SC-35	195	0.669	0.0745
5	DAM-2105	LV SC-4	185	3.55	0.0675
6	DAM-2201	LV SC-185	180	0.191	0.0908
7	DA-2201-PM1	LV SC-4	175	3.55	0.0675
8	DAM-2205	LV SC-50	155	0.494	0.0759
9	DA-2205-PM1	LV SC-4	160	3.55	0.0675
10	KM-2001A	LV SC-16	180	1.47	0.0761
11	KM-2201A	LV SC-50	160	0.494	0.0759
12	KM-2201A-PM1	LV SC-4	165	3.55	0.0675
13	K-2205-PM1	LV SC-6	175	3.55	0.0657
14	KM-2206	LV SC-120	150	0.196	0.0708
15	KM-2206	LV SC-50	165	0.494	0.0759
16	KM-2210A	LV SC-120	155	0.196	0.0708
17	MAM-2211	LV SC-4	155	3.55	0.0675
18	PM-2002A	LV SC-4	185	3.55	0.0675
19	PM-2105A	LV SC-4	175	3.55	0.0675
20	PM-2104A	LV SC-4	205	3.55	0.0675
21	PM-2105A	LV SC-4	190	3.55	0.0675
22	PM-2107	LV SC-10	190	2.55	0.0785
23	PM-2109	LV SC-6	185	3.55	0.0657
24	PM-2110	LV SC-25	180	0.927	0.0766
25	PM-2111	LV SC-6	200	3.55	0.0657
26	PM-2205A	LV SC-120	150	0.196	0.0708
27	PM-2205A-PM1	LV SC-4	155	3.55	0.0675
28	PM-2206A	LV SC-50	150	0.494	0.0759
29	PM-2209A	LV SC-50	175	0.494	0.0759
30	PM-2211A	LV SC-16	155	1.47	0.0761
31	PM-2922A	LV SC-6	170	3.55	0.0657
32	PM-2925A	LV SC-6	175	3.55	0.0657
33	ZVM-2207A	LV SC-4	160	3.55	0.0675
34	ZVM-2227	LV SC-6	155	3.55	0.0657
35	ZSM-2507	LV SC-4	55	3.55	0.0675
36	ZSM-2506-1	LV SC-4	70	3.55	0.0675
37	ZSM-2506-2	LV SC-4	70	3.55	0.0675
38	ZAM-2509	LV SC-25	100	0.927	0.0766
39	ZVM-2511	LV SC-4	80	3.55	0.0675
40	ZVM-2512	LV SC-4	80	3.55	0.0675
41	ZVM-2513	LV SC-4	45	3.55	0.0675
42	ZDM-2591	LV SC-4	55	3.55	0.0675

4.2 Perhitungan

4.2.1 Perhitungan Daya Reaktif

Untuk menghitung nilai daya reaktif pada masing-masing beban dapat menggunakan persamaan (2-36), yaitu :

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{pp} \times I_{pp} \times \sin \phi$$

Untuk nilai daya reaktif pada motor listrik nomor 1 didapatkan hasilnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{3\phi} &= \sqrt{3} \times V_{pp} \times I_{pp} \times \sin \phi \\ &= \sqrt{3} \times 380 \times 22.1 \times 0.536 \\ &= 7796.5 \text{ VAR} \\ &= 7.7965 \text{ KVAR.} \end{aligned}$$

Untuk nilai daya reaktif pada masing-masing beban motor listrik dapat dilihat pada tabel hasil perhitungan daya yaitu tabel 4.3.

4.2.2 Perhitungan Daya Semu

Untuk menghitung nilai daya semu pada masing-masing beban dapat menggunakan persamaan (2-11), yaitu $S_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{pp} \times I_{pp}$. Untuk nilai daya semu pada motor listrik nomor 1 didapatkan hasilnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_{3\phi} &= \sqrt{3} \times V_{pp} \times I_{pp} \\ &= 1.73 \times 380 \times 22.1 \\ &= 14528.5 \text{ VA} \\ &= 14.5285 \text{ KVA} \end{aligned}$$

Untuk nilai daya semu pada masing-masing beban motor listrik dapat dilihat pada tabel hasil perhitungan daya yaitu tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Daya Reaktif dan Daya Semu Pada Beban Motor Selsy 1000 VA 230V 50 Hz PT. PERKASA RI II

No.	SPESIFIKASI MOTOR	cosφ	Simp	Daya Aktif (KW)	Daya Reaktif (KVAR)	Daya Semu (KVA)
1	DAM-2101	0.844	0.536	11	7.7965	14.5455
2	DA-2101-PM1	0.75	0.661	0.1	0.1566	0.2369
3	DA-2101-PM2	0.71	0.704	0.4	0.556	0.7897
4	DAM-2102	0.841	0.541	15	10.597	19.2162
5	DAM-2103	0.747	0.664	0.75	0.874	1.3165
6	DAM-2101	0.935	0.359	150	60.8475	165.4839
7	DA-2201-PM1	0.742	0.734	0.75	0.9535	1.2702
8	DAM-2203	0.766	0.642	50	27.4227	42.7145
9	DA-2205-PM1	0.684	0.729	0.4	0.5615	0.77
10	KM-2001A	0.796	0.602	15	12.4014	20.6004
11	KM-2201A	0.882	0.471	50	17.1116	36.5504
12	KM-2201A-PM1	0.742	0.67	0.75	0.951	1.2702
13	K-2205-PM1	0.896	0.444	5.7	2.1166	4.7716
14	KM-2206	0.817	0.576	155	102.7561	178.5615
15	KM-2206	0.766	0.642	50	27.4227	42.7145
16	KM-2210A	0.86	0.51	75	47.0935	92.5596
17	MAM-2211	0.856	0.546	5.7	2.8346	5.1751
18	PM-2002A	0.87	0.495	2.2	1.6619	3.6175
19	PM-2105A	0.829	0.559	1.5	1.3561	2.2114
20	PM-2104A	0.684	0.729	0.4	0.5615	0.77
21	PM-2105A	0.606	0.795	0.2	0.3775	0.4756
22	PM-2107	0.84	0.541	7.7	4.0622	11.9126
23	PM-2109	0.896	0.44	5.7	2.0995	4.7716
24	PM-2110	0.891	0.455	15	6.3461	16.4264
25	PM-2111	0.905	0.429	2.2	1.2141	2.85
26	PM-2205A	0.952	0.362	75	30.9015	85.5655
27	PM-2205A-PM1	0.684	0.729	0.4	0.5615	0.77
28	PM-2206A	0.882	0.471	50	17.1116	36.5504
29	PM-2209A	0.87	0.495	57	32.2912	49.2155
30	PM-2211A	0.906	0.416	11	5.5022	15.1652
31	PM-2922A	0.84	0.541	5.1	2.8727	6.4244
32	PM-2925A	0.84	0.541	5.5	2.8276	6.2926
33	ZVM-2207A	0.852	0.564	2.2	1.772	3.1966
34	ZVM-2227	0.815	0.579	5.5	4.5547	7.8321
35	ZSM-2507	0.847	0.551	5.7	2.864	5.0546
36	ZSM-2506-1	0.847	0.551	5.7	2.864	5.0546
37	ZSM-2506-2	0.847	0.551	5.7	2.864	5.0546
38	ZAM-2509	0.855	0.516	22	14.4552	27.9059
39	ZVM-2511	0.852	0.564	2.2	1.772	3.1966
40	ZVM-2512	0.747	0.664	0.75	0.874	1.3165
41	ZVM-2513	0.855	0.555	1.5	1.3566	2.2706
42	ZDM-2591	0.87	0.495	2.2	1.4601	2.9617
Total Penjumlahan Daya				745.9 (KW)	458.14 (KVAR)	937.54 (KVA)

4.2.3. Perhitungan Jatuh Tegangan Maksimum

Jatuh tegangan pada masing-masing beban motor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E = \sqrt{3} \times \left\{ \sqrt{(E_m \cdot \cos \phi + I_n \cdot R \cdot L)^2 + (E_m \cdot \sin \phi + I_n \cdot X \cdot L)^2} - E_m \right\}$$

$$\begin{aligned} E &= 1.732 \times \left\{ \sqrt{(380 \times 0.844 + 22.1 \times 1.47 \times 0.19)^2 + \right. \\ &\quad \left. \sqrt{(380 \times 0.536 + 22.1 \times 0.076 \times 0.19)^2} - 380 \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= 1.732 \times \{ 385.32 - 380 \} \\ e &= 9.21 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Nilai jatuh tegangan setelah dilakukan perhitungannya untuk satu beban motor didapatkan 9.21 Volt, apabila kita jadikan kedalam bentuk persen nilai jatuh tegangannya:

$$\Delta V = \frac{9.21}{380} \times 100 \%$$

$$\Delta V = 2.4 \%$$

Sedangkan jatuh tegangan pada saluran didapatkan dari rata-rata nilai jatuh tegangan keseluruhan beban motor yaitu sebesar 6.133 volt, apabila kita jadikan kedalam bentuk persen nilai jatuh tegangan pada saluran adalah:

$$\Delta V = \frac{6.133}{380} \times 100 \%$$

$$\Delta V = 1.614 \%$$

Jatuh tegangan menurut persyaratan yang diizinkan pada sistem distribusi menurut SPLN 1 : No. 063.K/0594/DIR/1995 tanggal 25 Agustus 1995 adalah 5-10 %. Jika kita bandingkan jatuh tegangan yang dihitung pada saluran diatas dapat disimpulkan bahwa jatuh tegangan 1.614 % ini masih dalam batas normal. Untuk nilai jatuh tegangan pada masing-masing beban motor listrik dan pada saluran dapat dilihat pada tabel hasil perhitungan jatuh tegangan yaitu tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Beban Motor SS-19 MCC-19-D1, Kelas Plaso PT. PERTAMINA RU III

NO.	SPESIFIKASI MOTOR	Cable Size	Area (A)	Cosφ (pf)	Simp	Voltage Drop	
						Volt	%
1	DAM-2101	LV SC-16	22.1	0.844	0.536	9.21	2.4
2	DA-2101-PM1	LV SC-4	0.56	0.75	0.661	0.55	0.1
3	DA-2101-PM2	LV SC-4	1.2	0.71	0.704	1.72	0.5
4	DAM-2102	LV SC-35	29.2	0.841	0.541	5.95	1.6
5	DAM-2103	LV SC-4	2	0.747	0.664	2.66	0.6
6	DAM-2201	LV SC-165	256	0.933	0.359	5.79	1.5
7	DA-2201-PM1	LV SC-4	1.93	0.742	0.734	2.59	0.7
8	DAM-2203	LV SC-50	64.9	0.766	0.642	7.44	2
9	DA-2203-PM1	LV SC-4	1.17	0.664	0.729	1.55	0.5
10	KM-2201A	LV SC-16	51.3	0.798	0.602	11.94	3.1
11	KM-2201A	LV SC-50	55.2	0.882	0.471	7.2	1.9
12	KM-2201A-PM1	LV SC-4	1.93	0.742	0.67	2.44	0.6
13	K-2203-PM1	LV SC-6	7.25	0.896	0.444	7.83	2.1
14	KM-2206	LV SC-120	371	0.817	0.576	7.07	1.9
15	KM-2206	LV SC-50	64.9	0.766	0.642	7.92	2.1
16	KM-2210A	LV SC-120	140.3	0.86	0.51	7.71	2
17	MAM-2211	LV SC-4	7.86	0.856	0.548	10.51	2.8
18	PM-2202A	LV SC-4	5.8	0.87	0.493	9.61	2.5
19	PM-2203A	LV SC-4	3.56	0.829	0.559	5.02	1.3
20	PM-2204A	LV SC-4	1.17	0.664	0.729	1.7	0.4
21	PM-2205A	LV SC-4	0.725	0.608	0.793	0.87	0.2
22	PM-2107	LV SC-10	16.1	0.94	0.341	13.22	3.5
23	PM-2109	LV SC-6	7.25	0.896	0.44	8.26	2.2
24	PM-2110	LV SC-25	26	0.891	0.453	7.52	2
25	PM-2111	LV SC-6	4.3	0.905	0.429	5.94	1.4
26	PM-2205A	LV SC-120	129.7	0.932	0.362	7.02	1.8
27	PM-2205A-PM1	LV SC-4	1.17	0.664	0.729	1.26	0.3
28	PM-2206A	LV SC-50	55.2	0.882	0.471	6.75	1.8
29	PM-2206A	LV SC-50	66.7	0.87	0.493	9.72	2.6
30	PM-2211A	LV SC-16	20	0.906	0.416	7.94	1.9
31	PM-2922A	LV SC-6	12.6	0.94	0.341	14.05	3.7
32	PM-2923A	LV SC-6	12.6	0.94	0.341	14.24	3.7
33	ZVM-2207A	LV SC-4	4.86	0.832	0.554	6.67	1.8
34	ZVM-2227	LV SC-6	11.9	0.815	0.579	10.42	2.7
35	ZSM-2507	LV SC-4	7.66	0.847	0.551	3.66	1
36	ZSM-2506-1	LV SC-4	7.66	0.847	0.551	4.69	1.2
37	ZSM-2506-2	LV SC-4	7.66	0.847	0.551	4.69	1.2
38	ZAM-2509	LV SC-25	42.4	0.855	0.516	6.12	1.6
39	ZVM-2511	LV SC-4	4.86	0.832	0.554	3.55	0.9
40	ZVM-2512	LV SC-4	2	0.747	0.664	1.25	0.3
41	ZVM-2513	LV SC-4	3.49	0.833	0.553	1.33	0.4
42	ZDM-2591	LV SC-4	4.3	0.87	0.493	5.42	0.9
Nilai Jumlah Tegangan Rata-Rata Pada Saluran						6.133	1.614

4.2.4 Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya yang diperhitungkan disini adalah rugi-rugi daya semu yang dihitung berdasarkan pada persamaan (3-7) yaitu :

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta P)^2 + (\Delta Q)^2}$$

Diketahui :

$$I^2 = 488.41 \text{ Ampere}$$

$$R = 1.47 \text{ (ohm/km)}$$

$$X = 0.0761 \text{ (ohm/km)}$$

$$\Delta P = I^2 \times R$$

$$\Delta Q = I^2 \times X$$

$$= 488.41 \times 1.47 = 488.41 \times 0.0761$$

$$= 717.9627 \text{ Watt} = 37.17 \text{ Var}$$

Untuk nilai rugi-rugi daya pada motor listrik nomor 1 didapatkan hasilnya adalah :

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta P)^2 + (\Delta Q)^2}$$

$$\Delta S = \sqrt{(717.9627)^2 + (37.17)^2}$$

$$= \sqrt{516852.03}$$

$$= 718.9 \text{ VA}$$

Dari hasil perhitungan diatas apabila kita jadikan dalam bentuk persen didapatkan nilai rugi-rugi daya untuk satu beban motor adalah:

$$\Delta S \% = \frac{718.9}{11000} \times 100 \%$$

$$\Delta S \% = 6.54 \%$$

Untuk nilai rugi-rugi daya pada masing-masing beban motor listrik dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Beban Motor SS-19 MCC-19-D1, Kelas Plaso PT. PERTAMINA RU III

NO.	SPESIFIKASI MOTOR	Rugi Daya Aktif (W)	Rugi Daya Reaktif (VAR)	Rugi Daya Total (VA)	Rugi Daya Total (VA) %
1	DAM-2101	717.96	37.17	718.9	6.54
2	DA-2101-PM1	0.76	0.01	0.76	0.06
3	DA-2101-PM2	8.47	0.13	8.46	2.12
4	DAM-2102	570.42	65.55	575.9	5.83
5	DAM-2103	25.52	0.55	25.5	5.13
6	DAM-2201	12,517.56	5,931.01	13851.4	9.23
7	DA-2201-PM1	21.90	0.55	21.9	2.92
8	DAM-2203	2,080.73	311.37	2103.86	7.01
9	DA-2203-PM1	8.05	0.12	8.04	2.01
10	KM-2201A	1,440.14	74.55	1442.07	9.61
11	KM-2201A	27.27	4.06	27.57	0.09
12	KM-2201A-PM1	21.90	0.55	21.9	2.92
13	K-2203-PM1	206.57	4.40	206.6	5.56
14	KM-2206	14,594.44	5,177.59	15297.1	11.55
15	KM-2206	2,080.73	311.37	2103.86	7.01
16	KM-2210A	3,656.06	1,567.73	4100.07	5.47
17	MAM-2211	563.26	5.41	563.3	9.82
18	PM-2202A	197.80	2.94	197.8	8.99
19	PM-2205A	66.56	0.99	66.56	4.43
20	PM-2204A	8.08	0.12	8.04	2.01
21	PM-2106A	3.07	0.05	3.07	1.94
22	PM-2107	763.33	25.72	763.7	9.92
23	PM-2109	206.57	4.40	206.6	5.56
24	PM-2110	726.77	60.21	729.25	4.86
25	PM-2111	72.67	1.55	72.66	5.50
26	PM-2205A	3,297.15	1,185.96	3505.9	4.67
27	PM-2205A-PM1	8.06	0.12	8.04	2.01
28	PM-2206A	1,505.24	225.16	1521.9	5.07
29	PM-2206A	2,551.55	346.79	2557.5	6.57
30	PM-2211A	588.00	30.44	588.76	5.55
31	PM-2922A	643.89	13.71	644.03	12.63
32	PM-2923A	623.93	13.29	624.06	11.55
33	ZVM-2207A	156.86	2.07	156.89	6.51
34	ZVM-2227	356.55	11.85	356.6	10.12
35	ZSM-2507	346.82	5.16	346.8	9.57
36	ZSM-2506-1	346.82	5.16	346.8	9.57
37	ZSM-2506-2	346.82	5.16	346.8	9.57
38	ZAM-2509	1,666.32	158.07	1672.2	7.60
39	ZVM-2511	156.86	2.07	156.89	6.51
40	ZVM-2512	23.52	0.55	23.5	5.13
41	ZVM-2513	69.99	1.04	69.9	4.66
42	ZDM-2591	119.07	1.77	119.06	5.41
Rugi-Rugi Daya Total				55928.44 (VA)	

Rugi-rugi daya menurut persyaratan yang diizinkan pada sistem distribusi adalah 10 % - 13 %. Jika kita bandingkan rugi-rugi daya yang dihitung pada satu beban motor diatas dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi daya 6.54 % ini masih dalam batas normal.

Sedangkan untuk rugi-rugi daya total pada saluran merupakan penjumlahan dari seluruh rugi-rugi daya beban motor listrik di SS # 29 MCC-29-D1. Hasil perhitungan rugi-rugi daya total pada saluran adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta S_{\text{Total}} &= 55928.44 \text{ VA} \\ &= 55.92844 \text{ KVA}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas apabila kita jadikan dalam bentuk persen didapatkan nilai rugi-rugi daya total nya pada saluran di SS # 29 MCC-29-D1 adalah :

$$\begin{aligned}\Delta S\% &= \frac{55928.44}{937535.6} \times 100\% \\ \Delta S\% &= 5.96 \%\end{aligned}$$

Rugi-rugi daya menurut persyaratan yang diizinkan pada sistem distribusi adalah 10 % - 13 %. Jika kita bandingkan rugi-rugi daya total yang dihitung pada satu saluran diatas dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi daya 5.96 % ini masih dalam batas normal.

4.2.5 Perhitungan Kapasitas Kebutuhan Daya Maksimum

Kapasitas kebutuhan daya dihitung berdasarkan pada persamaan (3-17) sampai (3-21). Kapasitas kebutuhan daya maksimum, yaitu dengan mengambil harga penyerapan daya maksimum dan rugi-rugi daya maksimum. Harga maksimum ini dimaksudkan agar daya yang harus disupply oleh sumber adalah daya minimum untuk memenuhi kebutuhan daya sistem.

Untuk penyerapan kapasitas kebutuhan daya masing-masing beban motor listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}S_b &= P / \cos\phi \\ &= 11 / 0.844 \\ &= 13.03 \text{ kVA}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk penyerapan daya maksimum masing-masing beban adalah kapasitas kebutuhan daya dijumlahkan dengan rugi-rugi daya, untuk beban motor listrik nomor 1 didapatkan hasilnya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta S &= 718.9 \text{ VA} = 0.72 \text{ kVA} \\ S_b &= 13.03 \text{ kVA} \\ S_t &= S_b + \Delta S \\ &= 13.03 + 0.72 \\ &= 13.75 \text{ kVA}\end{aligned}$$

Jadi penyerapan daya maksimum untuk masing-masing beban motor listrik dapat dilihat pada tabel hasil perhitungan kebutuhan daya maksimum yaitu tabel 4.6.

Sedangkan untuk penyerapan daya maksimum total pada saluran di SS#29 MCC-29-D1 adalah penjumlahan dari penyerapan daya maksimum untuk semua beban motor listrik yaitu :

$$S_t \text{ Total} = 918.06 \text{ kVA}$$

Dari hasil perhitungan penyerapan daya maksimum pada saluran di SS#29 MCC-29-D1, disimpulkan bahwa kapasitas daya yang terpasang pada saat ini sebesar 1600 kVA masih mampu menerima beban yang beroperasi sekarang ini sebesar 918.06 kVA.

Tabel 4.6 Perhitungan Kebutuhan Daya Maksimum St (A.V.A)
Pada Beban Motor SS#29 MCC-29-D1 Kilang Pajjo PT. PERTAMINA RU III

NO.	SPEKIFIKASI MOTOR	Daya Maksimum (KVA)	Rugi Daya Total (KVA)	Daya Total Maksimum (KVA)
1	DAM-2101	13.03	0.72	13.75
2	DA-2101-PM1	0.13	0.00	0.13
3	DA-2101-PM2	0.36	0.01	0.37
4	DAM-2102	17.64	0.57	18.21
5	DAM-2103	1.00	0.02	1.02
6	DAM-2201	160.77	13.33	174.10
7	DA-2201-PM1	1.01	0.02	1.03
8	DAM-2203	39.16	2.10	41.27
9	DA-2203-PM2	0.36	0.01	0.37
10	KM-2001A	16.80	1.44	18.24
11	KM-2201A	34.01	0.03	34.04
12	KM-2201A-PM1	1.01	0.02	1.03
13	K-2203-PM1	4.13	0.21	4.34
14	KM-2206	165.24	15.50	180.74
15	KM-2206	39.16	2.10	41.27
16	KM-2210A	87.21	4.10	91.31
17	MAM-2211	4.43	0.36	4.79
18	PM-2002A	2.33	0.10	2.43
19	PM-2105A	1.81	0.07	1.88
20	PM-2104A	0.36	0.01	0.37
21	PM-2105A	0.33	0.00	0.33
22	PM-2107	6.19	0.76	6.95
23	PM-2109	4.13	0.21	4.34
24	PM-2110	16.84	0.73	17.57
25	PM-2111	2.44	0.07	2.51
26	PM-2205A	80.47	5.50	85.97
27	PM-2205A-PM1	0.36	0.01	0.37
28	PM-2206A	34.01	1.52	35.53
29	PM-2209A	42.33	2.36	44.69
30	PM-2211A	12.11	0.59	12.70
31	PM-2921A	5.43	0.64	6.07
32	PM-2925A	5.83	0.62	6.45
33	ZVM-2207A	2.64	0.14	2.78
34	ZVM-2227	6.75	0.36	7.11
35	ZVM-2507	4.37	0.33	4.72
36	ZVM-2508-1	4.37	0.33	4.72
37	ZVM-2508-2	4.37	0.33	4.72
38	ZAM-2509	25.73	1.67	27.40
39	ZVM-2511	2.64	0.14	2.78
40	ZVM-2512	1.00	0.02	1.02
41	ZVM-2513	1.80	0.07	1.87
42	ZVM-2591	2.33	0.12	2.45
Daya Total Pada saluran				918.06 (KVA)

4.2.6 Perhitungan Arus Maksimum Pada Saluran

Arus yang mengalir pada saluran dihitung menggunakan persamaan (3-2) :

$$I_{bm} = \frac{P_m}{\sqrt{3 \times 0.95 \times V_n \times \cos\phi}}$$

Nilai P_m didapatkan dari total daya aktif secara keseluruhan dari semua beban motor yang terdapat pada SS#29-MCC-29-D1 seperti yang terlampir pada tabel 4.3.

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } P_m &= 745.9 \text{ KW} \\ V &= 0.38 \text{ KV} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk faktor kerja ($\cos\phi$) didapatkan nilai nya dari :

$$\begin{aligned} \cos\phi &= \frac{P}{S} \\ &= \frac{745.9 \text{ kw}}{937.5356} \\ &= 0.795 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai faktor kerja ($\cos\phi$) nya pada saluran adalah 0.795. Dengan nilai $\cos\phi$ saat ini didapatkan nilai arus yang mengalir pada saluran adalah : Kondisi pertama,

$$\begin{aligned} I_{bm} &= \frac{P_m}{\sqrt{3 \times 0.95 \times V_n \times \cos\phi}} \\ &= \frac{745.9 \text{ kw}}{\sqrt{3 \times 0.95 \times 0.38 \times 0.795}} \\ &= \frac{0.497}{1500.8 \text{ Ampere}} \end{aligned}$$

Untuk menentukan berapa nilai power kapasitor yang harus dipasang pada saluran dalam menaikkan harga $\cos\phi$ dari 0.795 menjadi 0.85 dapat menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} Q_c &= P (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \\ \cos\phi_1 &= 0.795 \\ \Phi &= \arccos 0.795 = 37^\circ \\ \tan\phi_1 &= \tan 37^\circ \\ &= 0.762 \\ \cos\phi_2 &= 0.85 \\ \phi_2 &= \arccos 0.85 = 31^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_c &= 745.9 (0.762 - 0.619) \\ &= 745.9 \times 0.143 \\ &= 106.66 \text{ KVAR} \\ &= 106.66 \times 10^3 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menentukan besarnya nilai kapasitas kapasitor yang dipasang dihitung menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} Q_c &= 3 \times V^2 \times 2\pi f \times C \\ &= 3 \times 380^2 \times 2\pi \times 50 \times C \\ &= 3 \times 144400 \times 314 \times C \\ &= 106.66 \times 10^3 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Jadi besarnya nilai kapasitas kapasitor yang harus dipasang adalah sebesar :

$$\begin{aligned} C &= \frac{106660}{3 \times 144400 \times 314} \\ C &= \frac{106660}{136024800} \\ C &= 7.84121 \times 10^{-4} \text{ Farad} \\ C &= 784.121 \mu\text{Farad} \end{aligned}$$

Daya reaktif yang terpasang pada saluran SS#29-MCC-29-D1 setelah dinaikkan $\cos\phi$ nya dari 0.795 menjadi 0.85 adalah sebesar :

$$\begin{aligned} Q &= 458.14 - 106.66 \\ &= 351.48 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

Dari nilai $\cos\phi$ yang dinaikkan menjadi 0.85 dapat dihitung arus yang mengalir pada saluran seperti persamaan dibawah : Kondisi kedua,

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } P_m &= 745.9 \text{ KW} \\ V_n &= 380 \text{ Volt} = 0.38 \text{ KV} \\ \cos\phi &= 0.85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{bm} &= \frac{P_m}{\sqrt{3 \times 0.95 \times V_n \times \cos\phi}} \\ I_{bm} &= \frac{745.9}{\sqrt{3 \times 0.95 \times 0.38 \times 0.85}} \\ I_{bm} &= \frac{745.9}{0.531} \\ I_{bm} &= 1404.71 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Dengan memasang kapasitor pada saluran kita dapat menaikkan nilai factor kerja (*Cosφ*), naiknya factor kerja dari 0.79 hingga 0.85 nilai arus pada saluran pun berkurang seperti yang telah kita lakukan perhitungan diatas sebesar 1404.71 Ampere. Seperti yang terlihat pada tabel 4.7 dan tabel 4.8.

Tabel 4.7 Kondisi Pertama Perbandingan Nilai Arus Dengan *Cosφ*

No	Tegangan (V)	Faktor Kerja (<i>Cosφ</i>)	Arus (Ampere)
1	380	0.79	1500.8

Tabel 4.8 Kondisi Kedua Perbandingan Nilai Arus Dengan *Cosφ*

No	Tegangan (V)	Faktor Kerja (<i>Cosφ</i>)	Arus (Ampere)
1	380	0.85	1404.71

4.3 Analisa

4.3.1 Analisa Perhitungan Jatuh Tegangan Maksimum

Nilai jatuh tegangan setelah dilakukan perhitungannya untuk satu beban motor didapatkan 9.21 Volt, apabila kita jadikan kedalam bentuk persen nilai jatuh tegangan nya adalah :

$$\Delta V = \frac{9.21}{380} \times 100 \%$$

$$\Delta V = 2.4 \%$$

Sedangkan jatuh tegangan pada saluran di SS#29-MCC-29-D1 didapatkan dari rata-rata nilai jatuh tegangan keseluruhan beban motor yaitu sebesar 6.133 volt, apabila kita jadikan kedalam bentuk persen nilai jatuh tegangan pada saluran adalah :

$$\Delta V = \frac{6.133}{380} \times 100 \%$$

$$\Delta V = 1.614 \%$$

Jatuh tegangan menurut persyaratan yang diizinkan pada sistem distribusi SPLN 1 : 1995 No. 063.K/0594/DIR/1995 tanggal 25 Agustus 1995 adalah 5-10 %. Jika kita bandingkan jatuh tegangan yang dihitung pada

satu beban motor diatas sebesar 2.4 %, dan jatuh tegangan pada saluran sebesar 1.614 % dapat disimpulkan bahwa nilai jatuh tegangan tersebut masih dalam batas normal, artinya tidak melebihi dari persyaratan yang diizinkan sebesar 5-10 %.

4.3.2 Analisa Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Hasil perhitungan rugi-rugi daya total pada beban motor listrik nomor 1 adalah :

$$\Delta S = 718.9 \text{ VA} = 0.72 \text{ KVA}$$

Dari hasil perhitungan diatas apabila kita jadikan dalam bentuk persen didapatkan nilai rugi-rugi daya untuk satu beban motor adalah:

$$\Delta S \% = \frac{718.9}{11000} \times 100 \%$$

$$\Delta S \% = 6.54 \%$$

Sedangkan untuk rugi-rugi daya total pada saluran adalah penjumlahan dari seluruh rugi-rugi daya beban motor listrik di SS#29 MCC-29-D1. Hasil perhitungan rugi-rugi daya total pada saluran di SS#29 MCC-29-D1 adalah sebesar :

$$\Delta S_{\text{Total}} = 55928.44 \text{ VA} = 55.92844 \text{ KVA}$$

Apabila kita jadikan dalam bentuk persen didapatkan nilai rugi-rugi daya total nya pada saluran di SS#29 MCC-29-D1 adalah :

$$\Delta S \% = \frac{55928.44}{937535.6} \times 100 \%$$

$$\Delta S \% = 5.96 \%$$

Rugi-rugi daya menurut persyaratan yang diizinkan pada sistem distribusi adalah 10 % - 13 %. Jika kita bandingkan rugi-rugi daya yang dihitung pada satu beban motor listrik diatas sebesar 6.54 %, dan rugi-rugi daya pada saluran di SS#29 MCC-29-D1 sebesar 5.96 % dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi daya tersebut masih dalam batas normal, artinya tidak melebihi dari batas yang diizinkan sebesar 10-13 %.

4.3.3 Analisa Perhitungan Kapasitas Kebutuhan Daya Maksimum

Perhitungan penyerapan kapasitas kebutuhan daya pada beban motor listrik nomor 1 adalah sebagai berikut :

$$S = P / \cos\phi = 11 / 0.844 = 13.03 \text{ kVA}$$

Sedangkan untuk penyerapan daya maksimum masing-masing beban adalah kapasitas kebutuhan daya dijumlahkan dengan rugi-rugi daya, untuk beban motor listrik nomor 1 adalah sebagai berikut :

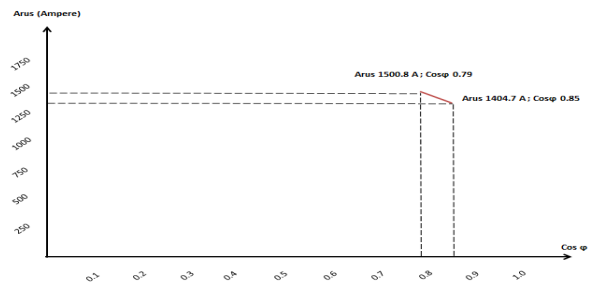
$$S_t = S + \Delta S = 13.03 + 0.72 = 13.75 \text{ kVA}$$

Untuk penyerapan daya maksimum pada saluran di SS#29 MCC-29-D1 adalah penjumlahan dari penyerapan daya maksimum untuk semua beban motor listrik, yaitu : S_t Total = 918.06 kVA

Dari hasil perhitungan penyerapan daya maksimum pada saluran di SS#29 MCC-29-D1, disimpulkan bahwa kapasitas daya yang terpasang pada saat ini sebesar 1600 kVA masih mampu menerima beban yang beroperasi sekarang ini sebesar 918.06 kVA.

4.3.4 Analisa Perhitungan Arus Maksimum Pada Saluran

Dengan memasang kapasitor pada saluran SS#29 MCC-29-D1 sebesar $Q_c = 106.66 \text{ KVAR}$ kita dapat menaikkan nilai factor kerja ($\cos\phi$), naiknya factor kerja ($\cos\phi$) dari 0.79 hingga 0.85 nilai arus pada saluran pun berkurang dari 1500.8 *ampere* menjadi 1404.71 *ampere*. Jika dilihat dalam bentuk grafik, maka penurunan arus pada saat $\cos\phi$ dinaikan terlihat seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.1 : Kurva Beban Perbandingan Arus dan $\cos\phi$

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil mengenai Peranan daya reaktif pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU III SS# 29 MCC 29-D-1 Kilang Plaju adalah sebagai berikut :

1. Nilai jatuh tegangan setelah dilakukan perhitungannya untuk satu beban motor adalah sebesar 9.21 V atau sama dengan 2.4 %. Sedangkan jatuh tegangan pada saluran di SS#29-MCC-29-D1 didapatkan dari rata-rata nilai jatuh tegangan keseluruhan beban motor sebesar 6.133 volt atau sama dengan 1.614 %.
2. Jatuh tegangan yang diizinkan pada sistem distribusi primer menurut SPLN 1 : 1995 No. 063.K/0594/DIR/1995 tanggal 25 Agustus 1995 adalah 5-10%. Jika dibandingkan jatuh tegangan yang dihitung pada satu beban motor diatas sebesar 2.4 % dan jatuh tegangan pada saluran di SS#29-MCC-29-D1 sebesar 1.614 % dapat disimpulkan bahwa nilai jatuh tegangan ini masih dalam batas normal, artinya jatuh tegangan tsb tidak melebihi nilainya dari 10 %.
3. Hasil perhitungan nilai rugi-rugi daya untuk satu beban motor adalah sebesar 718.9 VA, atau sama dengan 6.54 %. Sedangkan rugi-rugi daya total pada saluran di SS#29-MCC-29-D1 adalah 55.92844 kVA atau sama dengan 5.96 % .
4. Rugi-rugi daya menurut persyaratan yang diizinkan pada sistem distribusi adalah 10 % -

13 %. Jika kita bandingkan rugi-rugi daya pada satu beban motor sebesar 6.54 % dan rugi-rugi daya pada saluran di SS#29-MCC-29-D1 sebesar 5.96 % dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi daya ini masih dalam batas normal, artinya rugi-rugi daya tsb tidak melebihi nilainya 13 %.

5. Perhitungan penyerapan kapasitas kebutuhan daya maksimum pada beban adalah kapasitas kebutuhan daya dijumlahkan dengan rugi-rugi daya, didapatkan nilainya sebesar 13.75 kVA.

6. Sedangkan untuk penyerapan daya maksimum total pada saluran di SS#29 MCC-29-D1 adalah penjumlahan dari penyerapan daya maksimum untuk semua beban motor listrik yaitu $S_t \text{ Total} = 918.06 \text{ kVA}$.

7. Hasil perhitungan penyerapan daya maksimum pada saluran di SS#29 MCC-29-D1 disimpulkan bahwa kapasitas daya yang ada sebesar 1600 kVA masih mampu menerima beban yang beroperasi sekarang ini sebesar 918.06 kVA.

DAFTAR PUSTAKA

Electrical Apparatus Service Association, Inc.
Electrical Engineering

Gonen, Turen, Electric Power Distribution
System Engineering, Mc. Graw Hill
Book Company, International Student
Edition, 1982

Standar Perusahaan Listrik Negara 1 : 1995
No. 063.K/0594/DIR/1995, Jakarta
tanggal 25 Agustus 1995.

Stevenson, William, D, Jr, Idris Kamal, Analisa
Sistem Tenaga Listrik, Penerbit
Erlangga, Edisi keempat. Jakarta, 1996

Tobing Bonggas L., Dasar Teknik Pengujian
Tegangan Tinggi. Penerbit PT Gramedia
Pustaka Utama. Jakarta, 2003

Wijaya. Mochtar. S.T. Dasar-Dasar Mesin
Listrik, Penerbit Djambatan, Jakarta,
2001.